

Análisis de descargas atmosféricas para líneas eléctricas de transmisión y distribución

Diego Alejandro González Lizcano

Contenido:

1. Impactos del rayo
2. Avances tecnológicos para la caracterización del rayo
3. Enfoque y Conceptos generales del trabajo informático
4. Procesamiento de datos
5. Método de presentación de información
6. Beneficio del análisis atmosférico para líneas aéreas

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

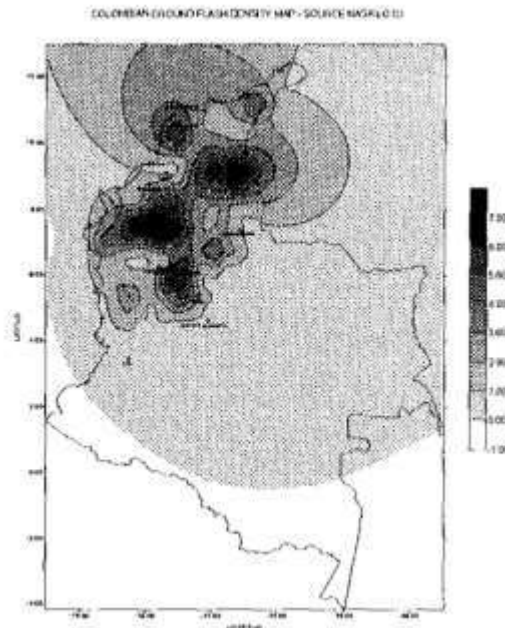
Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Impacto del Rayo

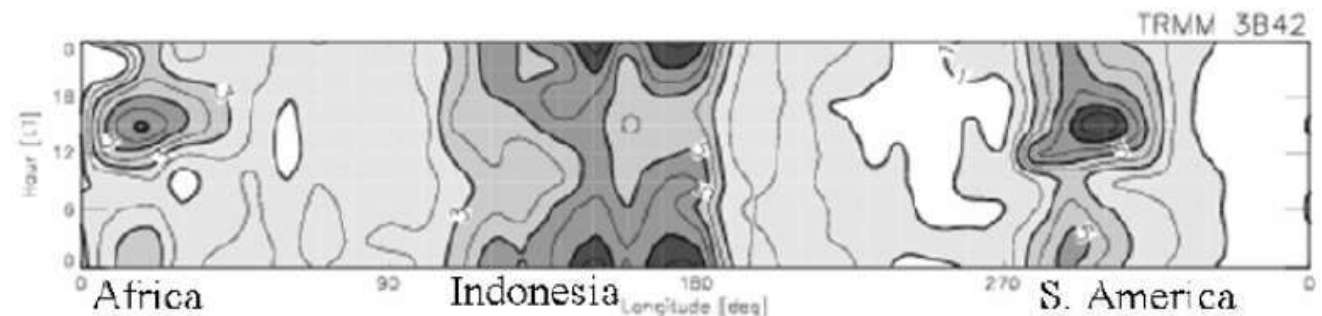
la actividad atmosférica en Colombia es una de las más activas del Planeta

Densidad atmosférica de Colombia:



De (H. Torres)

Tasa de precipitación superficial (mm/día):



De (Saulo, 2009)

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

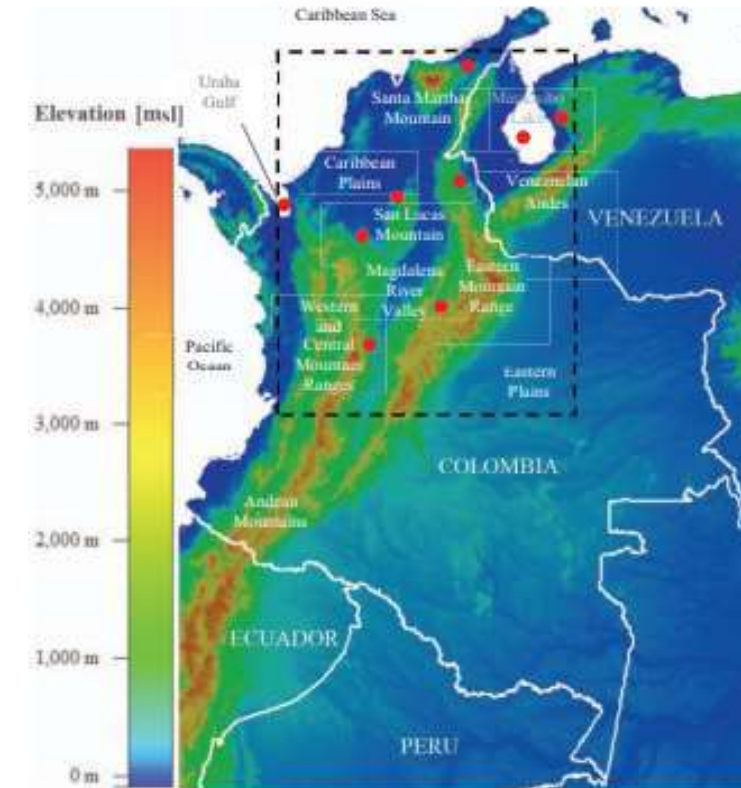
Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Impacto del Rayo

La aparición de descargas naturales atmosféricas dependen de los **cambios estacionales** así como del **comportamiento orográfico** del territorio

Mapa de orografía en Colombia



Característica rápida y aleatoria de manifestarse en cualquier lugar

(J. Inampué, 2017)

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Impacto del Rayo

El Rayo tiene impactos negativos en sistemas eléctricos aéreos de transmisión y distribución eléctrica



Fallas generadas en sistemas de transmisión de alto voltaje. De (D. Araugen, 2017)

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

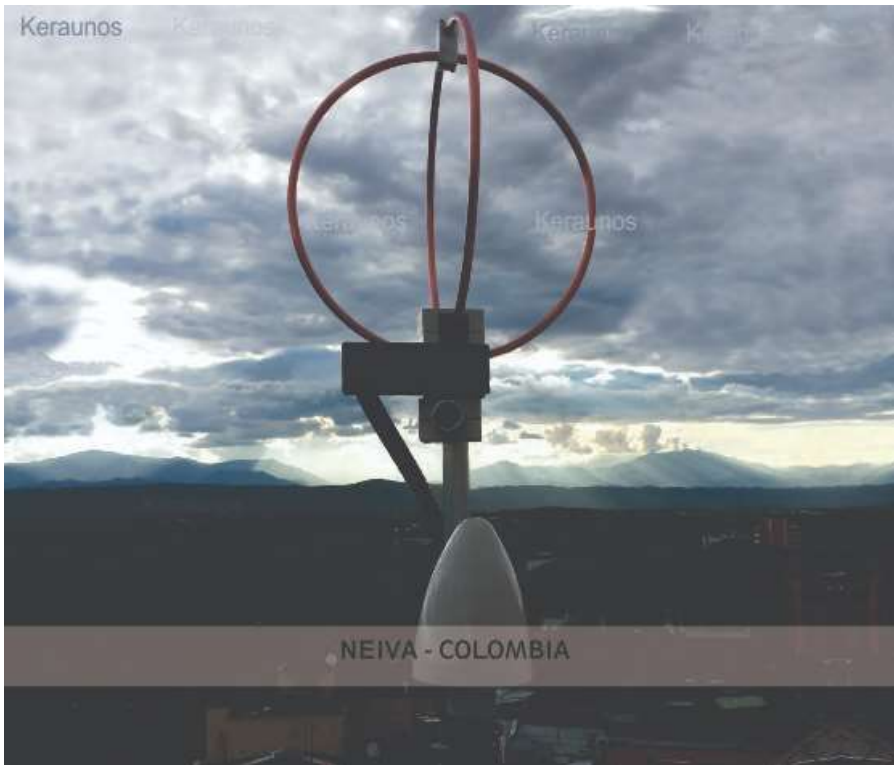
Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Avances tecnológicos para la caracterización del rayo



Antena receptora de ondas electromagnéticas,
De (Keraunos S.A.S)

Se han consolidado métodos de medición directa, ideal para registrar con relativa precisión la forma y polaridad de las ondas electromagnéticas

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Caracterización del rayo

	A	B	C	D	E	F	G
1	ZONA 1:						
2	37:12.5	38445	-716079	0	1	-12.6	1.028
3	41:23.5	38194	-716087	0	1	-16.3	0.786
4	44:26.4	38186	-716116	0	1	10.5	0.858
5	46:51.7	38633	-715915	0	1	-34.7	0.931
6	46:52.0	38549	-715879	0	1	-26.3	0.97
7	46:52.0	38659	-715896	0	2	-18.9	0.838
8	48:43.1	3846	-715846	0	1	-46	1.016
9	48:43.2	38557	-715882	0	1	-19.8	0.923
10	48:43.2	38546	-715911	0	1	-21.7	1.02
11	48:43.3	38544	-715905	0	2	-14.2	1.244
12	48:43.8	38644	-715988	0	1	-12.8	0.595
13	51:40.6	38163	-716101	0	1	-16.3	1.179
14	52:06.7	38361	-71597	0	2	-14	0.998
15	53:57.8	38386	-715999	0	1	-19.6	0.873

Reporte atmosférico,
De (Keraunos)

La información atmosférica necesaria para el análisis es:

- Ubicación geoespacial
- Polaridad del rayo
- Fecha y hora de manifestación
- Densidad de corriente
- Tipo de rayo y la distancia a la tierra si este fue Nube-Nube

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

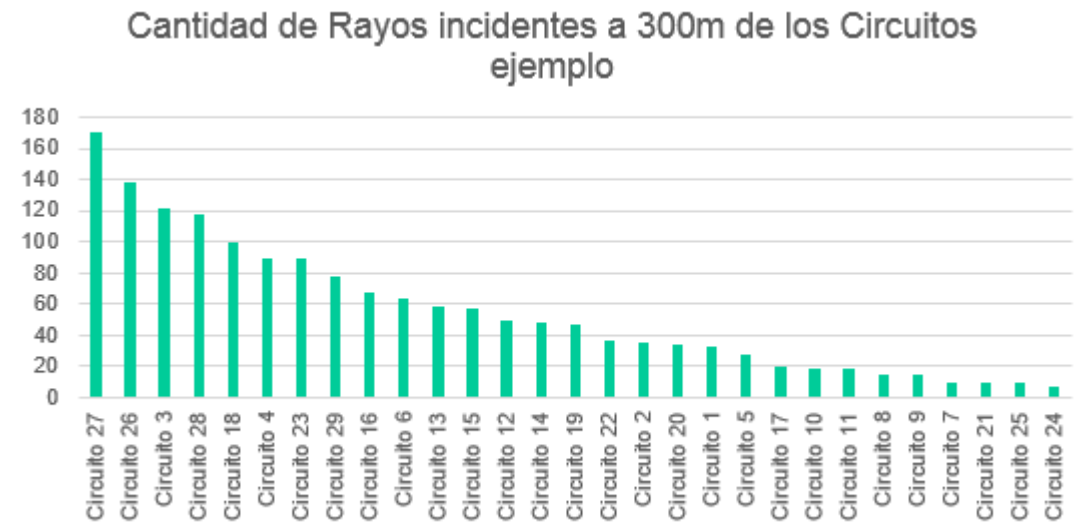
Enfoque a mantenimiento y confiabilidad eléctrica

Tormentas eléctricas que caen
sobre las líneas



depositphotos.com

Actividad atmosférica del sistema
de potencia



Elaboración Propia

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Conceptos Generales para el Procesamiento de Datos

- **Matriz:** Ordenación rectangular de elementos, una tabla es una matriz de datos
- **Diagrama de flujo:** Secuencia de acciones que llevan la realización de un fin
- **Base de datos:** Conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto, almacenados sistemáticamente para su posterior uso

- **Celda:** Matriz de contenedores, denominados *celdas*, que pueden almacenar cualquier tipo de dato

`C = 2x3 cell array`

<code>{[1]}</code>	<code>{[2]}</code>	<code>{[3]}</code>
<code>{'text'}</code>	<code>{5x10x2 double}</code>	<code>{3x1 cell}</code>

De
la.mathworks.com

- **Sentencia condicional:** instrucción o grupo de instrucciones que se pueden ejecutar o no en función del valor de una condición.

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

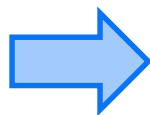
Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

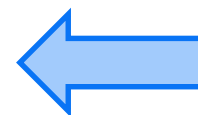
Análisis
atmosférico

Procesamiento de Datos

rayos_1
rayos_2
rayos_3
rayos_4
rayos_5
rayos_6
rayos_7
rayos_8
rayos_9
rayos_10



Ubicación
Geoespacial



Sistema de Potencia

- ✓ Actividad atmosférica de los circuitos
- ✓ Caracterización de Tormentas
- ✓ Densidad de incidencia atmosférica 3D

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

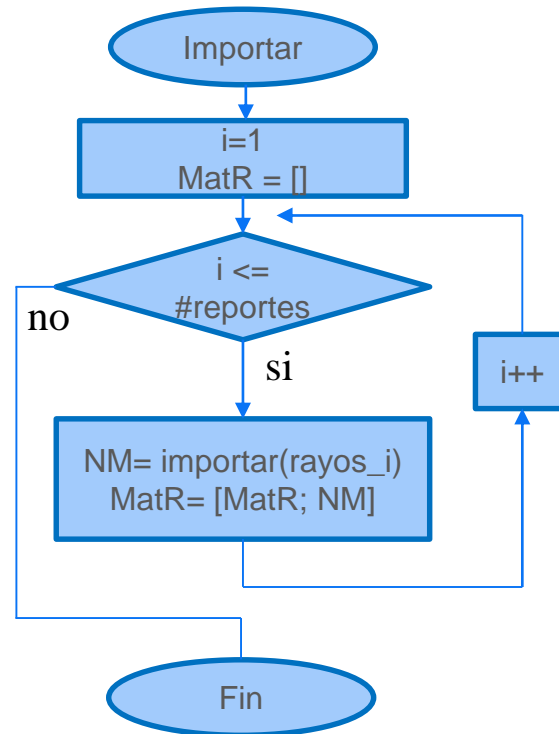
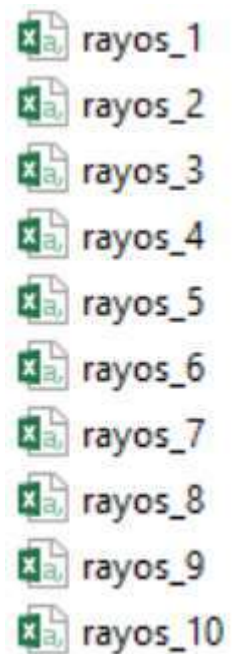
Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Importación de Datos

- Es necesario buscar métodos de importación de los datos al entorno de programación



Reportes atmosféricos
semanales, .csv

Matriz tipo *string* con todos los registros
atmosféricos:

!	!	!	!	!	!	!	!
!2016-09-09 16:23:46.409	38217	-716199	0	1	-9.9	0.551	!
!	!	!	!	!	!	!	!
!2016-09-10 21:28:19.939	37819	-716184	21.6	2	-9.8	2.074	!
!	!	!	!	!	!	!	!
!2016-09-14 18:38:52.517	37791	-716395	0	1	-8.6	0.27	!
!	!	!	!	!	!	!	!
!2016-09-09 16:07:05.141	37888	-715991	0	1	-16.4	0.423	!
!	!	!	!	!	!	!	!
!2016-09-09 16:07:05.214	37861	-716022	0	1	-11.1	0.37	!
!	!	!	!	!	!	!	!
!2016-09-09 16:07:26.506	37908	-715174	0	1	-13.6	0.718	!
!	!	!	!	!	!	!	!
!2016-09-09 16:07:26.871	38037	-715165	0	1	-14.4	0.341	!

Elaboración propia, datos suministrados por **Keraunos**

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Corrección de puntuación Geoespacial

- Existe un error en la puntuación Geoespacial producto del trabajo con formato .CSV

QuitarPunto(MatrizRayos)

Ejem: Latitud errónea

38.03 ➡ 3803

Posibles formatos de Latitud y Longitud

Latitud	Longitud
3.803	-71.615
38.03	-716.15
3803	-71615

ComaenLatLng(MatrizRayos)

3803 ➡ 3.803

Se dispone la puntuación donde pertenece, según la ubicación Geográfica Colombiana

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Acondicionamiento de Datos

- Dentro de los reportes atmosféricos se contemplan los rayos que se manifestaron entre nubes, su aparición no es relevante

Guardar y organizar la información de los rayos
Nube-Tierra

!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	2016-09-09 16:23:46.409	38217	-716199	0	1	-9.9	0.551	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	2016-09-10 21:28:19.939	37819	-716184	21.6	2	-9.8	2.074	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	2016-09-14 18:38:52.517	37791	-716395	0	1	-8.6	0.27	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	2016-09-09 16:07:05.141	37888	-715991	0	1	-16.4	0.423	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	2016-09-09 16:07:05.214	37861	-716022	0	1	-11.1	0.37	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	2016-09-09 16:07:26.506	37908	-715174	0	1	-13.6	0.718	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	2016-09-09 16:07:26.871	38037	-715165	0	1	-14.4	0.341	!

Calcular la latitud y longitud en *Radianes*, Para
realizar cálculos de distancias entre puntos Geo
espaciados

!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	11	3.7966	-71.6025	0.0662632	-1.2496994	2016-11-08 21:42:19.816135	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	12.5	3.7968	-71.6034	0.0662667	-1.2497151	2016-11-08 21:43:10.928591	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	10.7	3.801	-71.6002	0.06634	-1.2496592	2016-11-08 21:44:41.445972	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	9.2	3.7939	-71.5018	0.066216	-1.2479418	2016-11-08 21:53:44.891381	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	11.3	3.7759	-71.4642	0.0659019	-1.2472856	2016-11-10 16:43:12.746652	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	19.1	3.9465	-71.5374	0.0688794	-1.2485632	2016-11-07 14:41:00.560109	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	10.2	3.9356	-71.5537	0.0686892	-1.2488477	2016-11-08 20:57:18.889608	!	!

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Identificación y depuración de errores

- Es necesario conocer el método de la obtención y el guardado de los datos de los dispositivos, con el fin de evitar valores erróneos que recaigan en el posterior análisis.

Esquema ejemplo: Error por solapamiento de zonas



Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

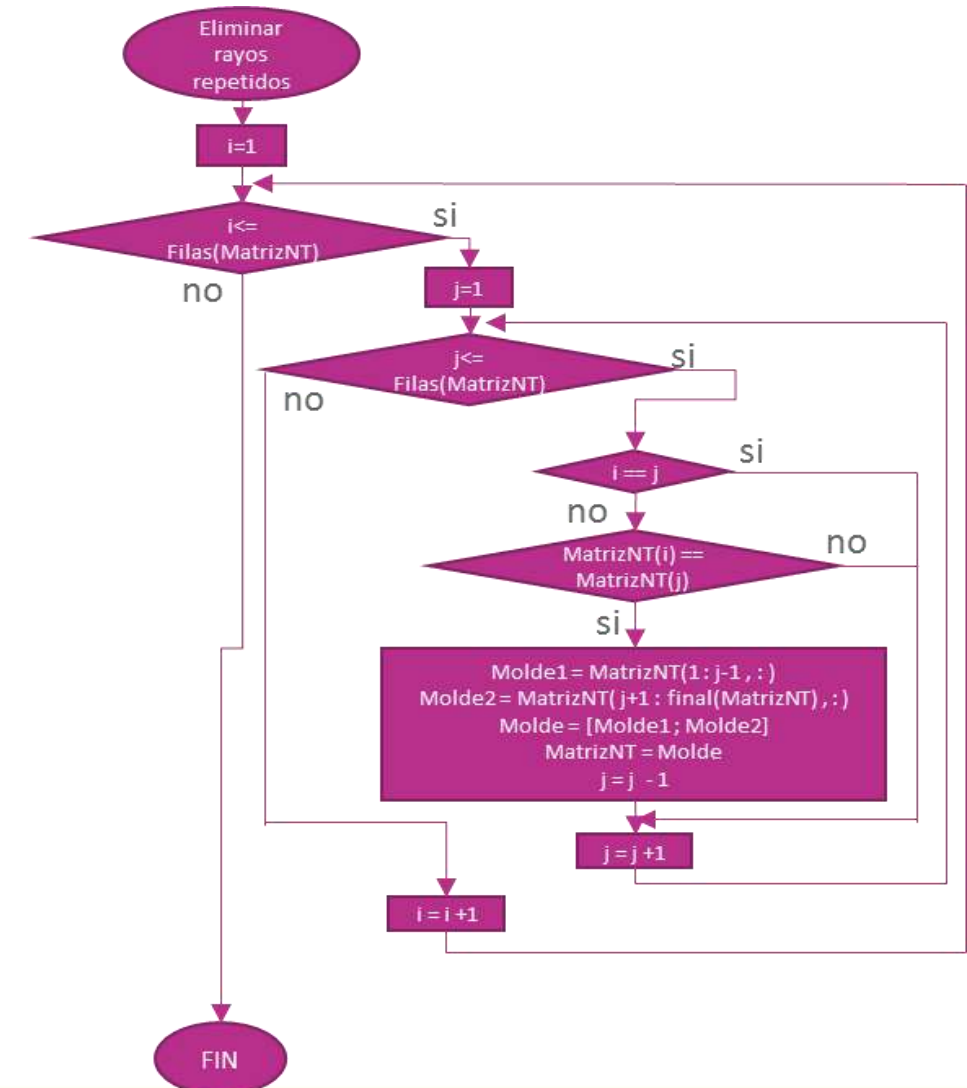
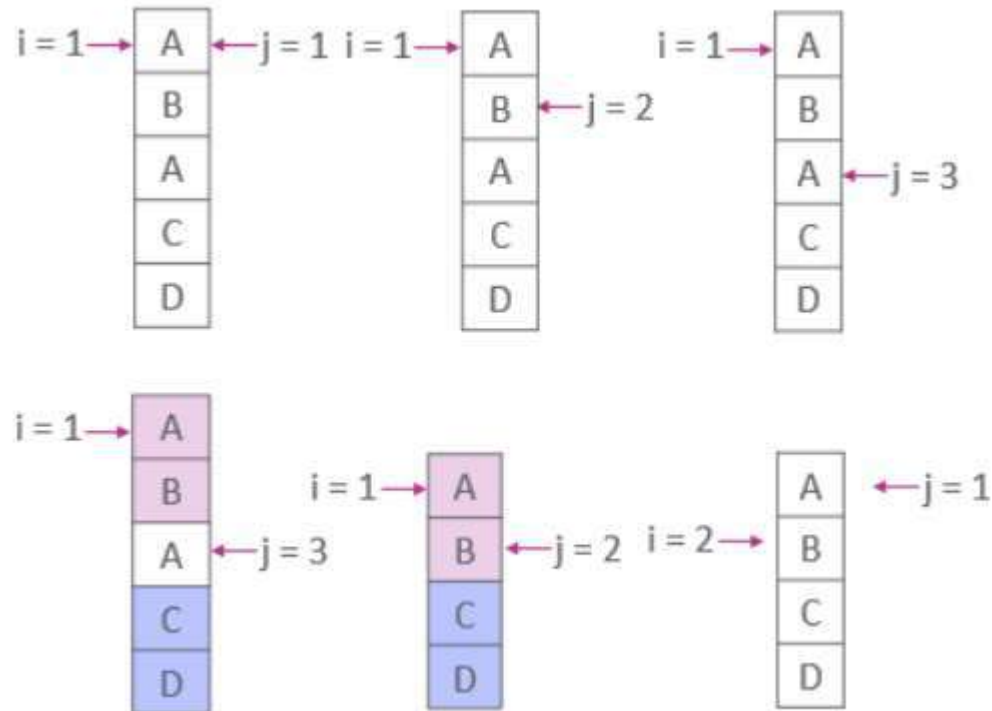
Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Identificación y depuración de errores



Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

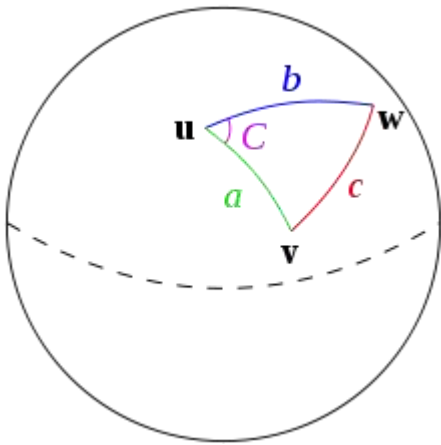
Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Características asociativas relevantes

¿Para que sirve conocer la ubicación de la caída de los Rayos?

❖ Formula de Haversine



De (Díaz, 2012)

$$\text{havrsin}\left(\frac{d}{R}\right) = \text{havrsin}(\varphi_1 - \varphi_2) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \text{havrsin}(\Delta\lambda).$$

Donde:

R es el radio de la esfera,
 φ_1 es la latitud del punto 1,
 φ_2 es la latitud del punto 2, y
 $\Delta\lambda$ es la diferencia de longitudes

$$\text{Distancia} = 6371 * \text{acos}(\cos(\text{RadLat1}) * \cos(\text{RadLat2}) * \cos(\text{RadLng2} - \text{RadLng1}) + \sin(\text{RadLat1}) * \sin(\text{RadLat2}))$$

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Características asociativas relevantes

- Se debe importar y organizar la información de la ubicación de cada torre de los circuitos analizados

Circuito 1			Circuito 2		
Estructura	Longitud	Latitud	Estructura	Longitud	Latitud
Torre-1-1	-71.601868	3.86149301	Torre-2-1	-71.601868	3.86152079
Torre-1-2	-71.601201	3.86082635	Torre-2-2	-71.601145	3.86085413
Torre-1-3	-71.600979	3.8605208	Torre-2-3	-71.600812	3.86043746
Torre-1-4	-71.601007	3.85727078	Torre-2-4	-71.600784	3.85732633
Torre-1-5	-71.601395	3.85443743	Torre-2-5	-71.601173	3.85415966
Torre-1-6	-71.600534	3.85154854	Torre-2-6	-71.600312	3.85146521
Torre-1-7	-71.599451	3.84799296	Torre-2-7	-71.599284	3.84804853
Torre-1-8	-71.598562	3.84510407	Torre-2-8	-71.59834	3.84510407
Torre-1-9	-71.597923	3.8429374	Torre-2-9	-71.597729	3.84299295
Torre-1-10	-71.59734	3.84104851	Torre-2-10	-71.59709	3.84096518
Torre-1-11	-71.59659	3.83871516	Torre-2-11	-71.596423	3.83874295
Torre-1-12	-71.595756	3.83599294	Torre-2-12	-71.59559	3.8360485
Torre-1-13	-71.595062	3.83310405	Torre-2-13	-71.594673	3.83310406
Torre-1-14	-71.595645	3.83165959	Torre-2-14	-71.595228	3.83177071

→ Circuitos{}

Mtz_Ubi_Torres	Nombre
[..] (n,3)	"QFD-BAT4"
...	...
<u>Mtz Cto Final</u>	<u>Nom Cto Final</u>

Consolidado de Circuitos a analizar

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Características asociativas relevantes

Problemas:

- Cada circuito tiene un numero diferente de torres
- Cada torre tiene un numero estocástico de incidencias atmosféricas

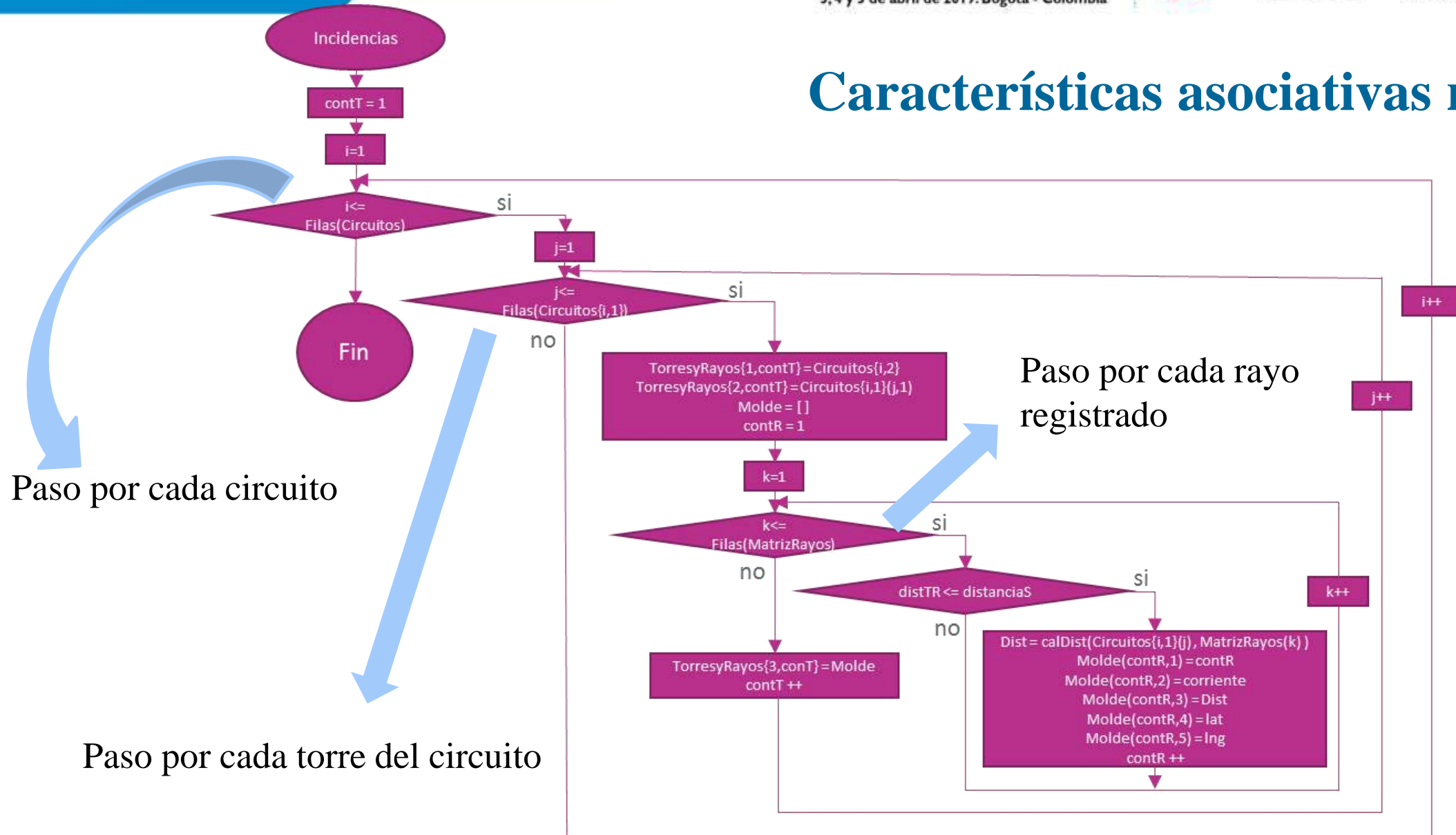
Solución:

❖ Celdas

TorresyRayos{ }:
//CELDA PRINCIPAL
TorresyRayos=-cell(3,totalT);

		1	...	i	...	totalT
String	Circuito	"C1"	...	"C19"	...	Cir_Final
String	Torre	"C1-1"	...	"C19-1"	...	To_Final
Matriz Double	MRayos	[..]	...	[..]	...	M_Final

Características asociativas relevantes



Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

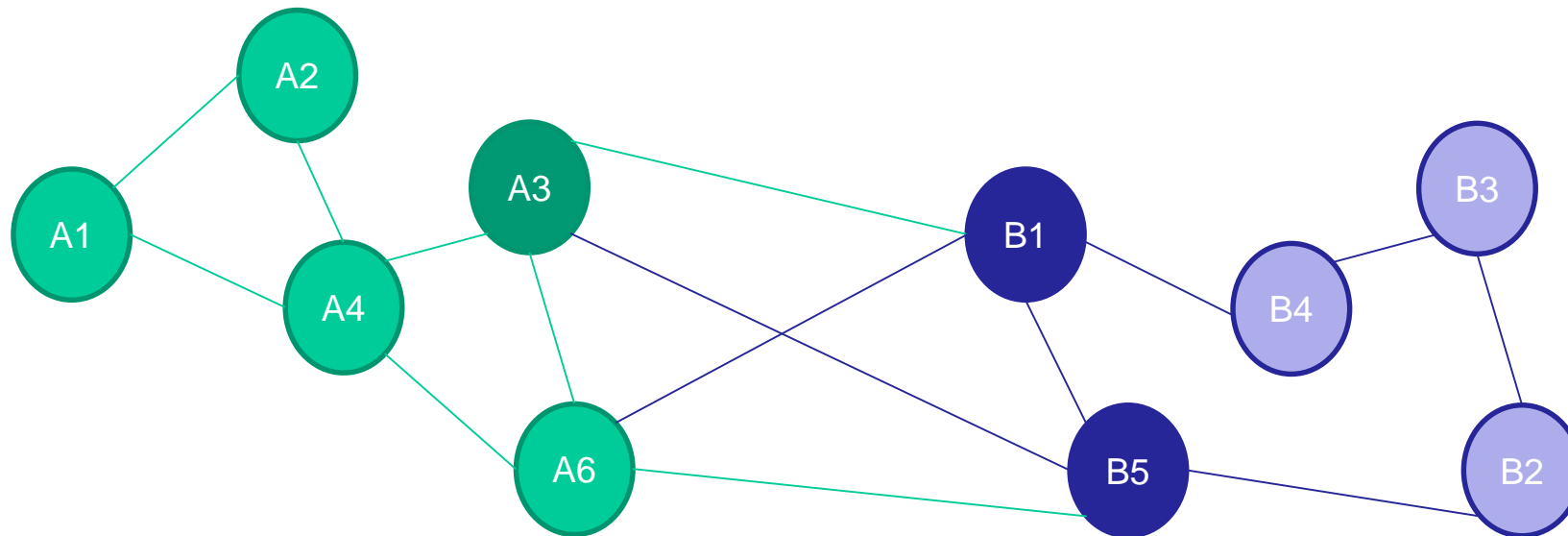
Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Presentación de la información

- La ventaja de poseer estructurada la información por medio de *Celdas*, permite una fácil y rápida selección de la misma
- El presentar información filtrada por sus valores críticos, o especificando sus parámetros, de manera automática permite la rápida estimación de múltiples estados



Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Presentación de la información

Datos Estadísticos:

- Datos de estadística de incidencia atmosférica por circuito
- Datos de estadística total de todos los circuitos, para definir criticidad

¿Como?

Identificar las torres de cada
circuito

	1	...	i	...	totalT
Circuito	"C1"	...	"C19"	...	Cir_Final
Torre	"C1-1"	...	"C19-1"	...	To_Final
MRayos	[..]	...	[..]	...	M_Final

Numero de rayos que cayeron en esa torre

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

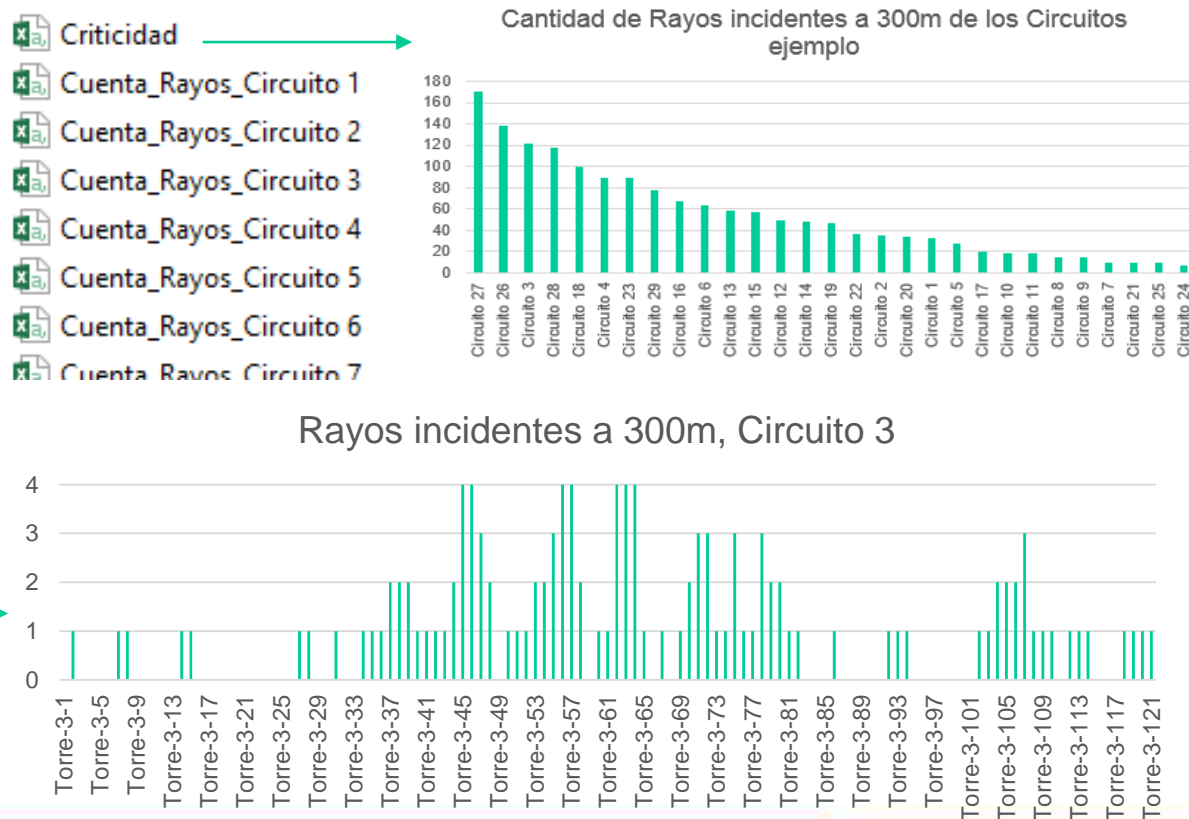
Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Estadística

Datos de cuenta de incidencias, de cada circuito y el consolidado de todos los circuitos, llamado *Criticidad*



República de Colombia
Departamento de Boyacá
Municipio de Tunja
Calle de la Torre
Torre-4-27

Copie y pegue la torre que quiere analizar: Torre-4-27

ID/Cte (kA) /	Dis (km)	/	lat	/	lng	/	fecha	/	hora
!1	-172.5	0.2711453	3.8417	-71.5608	2016-09-24	01:50:14.876	!		
!2	-21.7	0.1517488	3.8434	-71.5642	2016-09-24	20:28:26.69	!		
!3	-11.6	0.2906675	3.8417	-71.5606	2016-09-24	20:28:52.105	!		
!4	-12.4	0.3221981	3.8414	-71.5654	2016-09-24	20:30:37.776	!		
!5	-65.9	0.2352641	3.8415	-71.5645	2016-09-24	20:35:21.272	!		
!6	-9.8	0.2038352	3.8413	-71.5638	2016-09-27	19:39:11.88062	!		
!7	14.2	0.3666035	3.8453	-71.5652	2016-10-06	03:21:46.049363	!		

¿Quiere extraer la información a un Excel? si=1 / no=2: 1

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

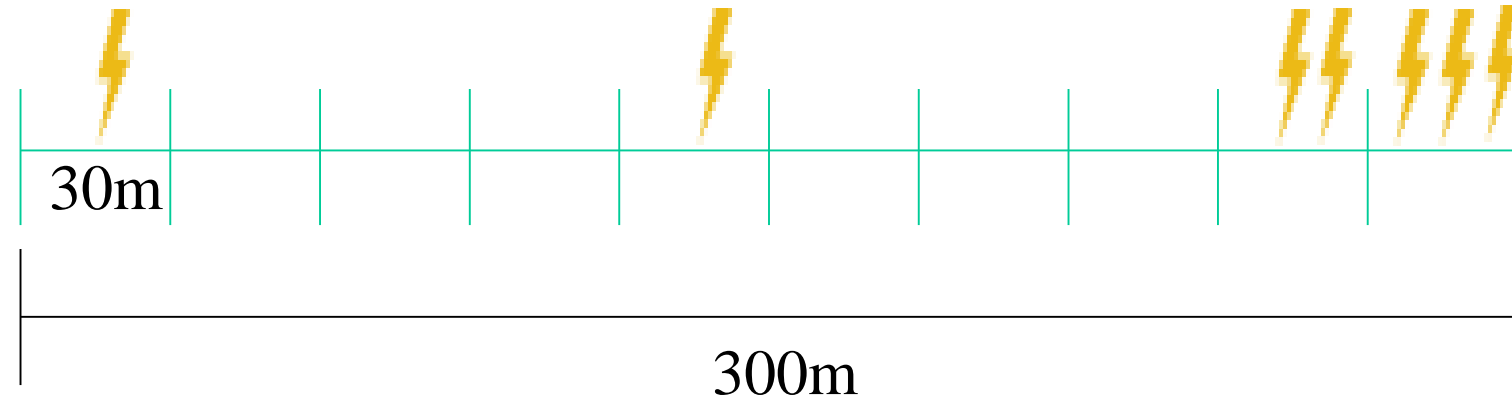
Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Densidad 3D de incidencia atmosférica

- Para un análisis más específico de la incidencia de rayos en circuitos, se plantea seccionar la distancia de cuenta de rayos a intervalos iguales, con un valor arbitrario



No es lo mismo un rayo
incidente a 20m de la torre
que 5 a 270m

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

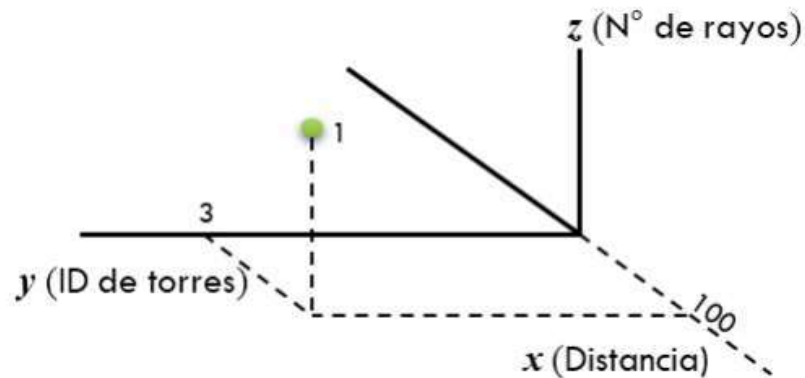
Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

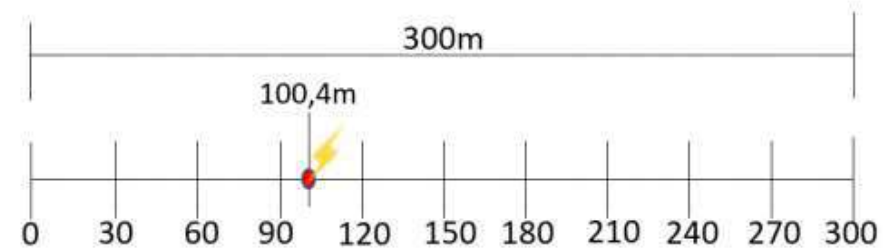
Densidad 3D de incidencia atmosférica

Ejes de la gráfica



La torre 3 a 100 metros tuvo
una incidencia atmosférica

¿Cómo discriminar las incidencias por
intervalo de distancias?



$$\alpha = \text{abs}(\text{limI}z - d) + \text{abs}(\text{limDe} - d)$$

Donde:

limIz es el límite izquierdo y

limDe es el límite derecho del intervalo analizado

d es la distancia del rayo a la torre

$$\alpha = \text{abs}(90 - 100,4) + \text{abs}(120 - 100,4) = 30$$

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico



















Análisis atmosférico para líneas aéreas

- El lapso de tiempo en que se caracteriza la actividad atmosférica de los circuitos determina el enfoque de su análisis

Caracterización de tormentas

 rayos_Tormenta_16_Agosto

Densidad atmosférica histórica

 rayos_2	 rayos_29	 rayos_56
 rayos_3	 rayos_30	 rayos_57
 rayos_4	 rayos_31	 rayos_58
 rayos_5	 rayos_32	 rayos_59
 rayos_6	 rayos_33	 rayos_60
 rayos_7	 rayos_34	 rayos_61

Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

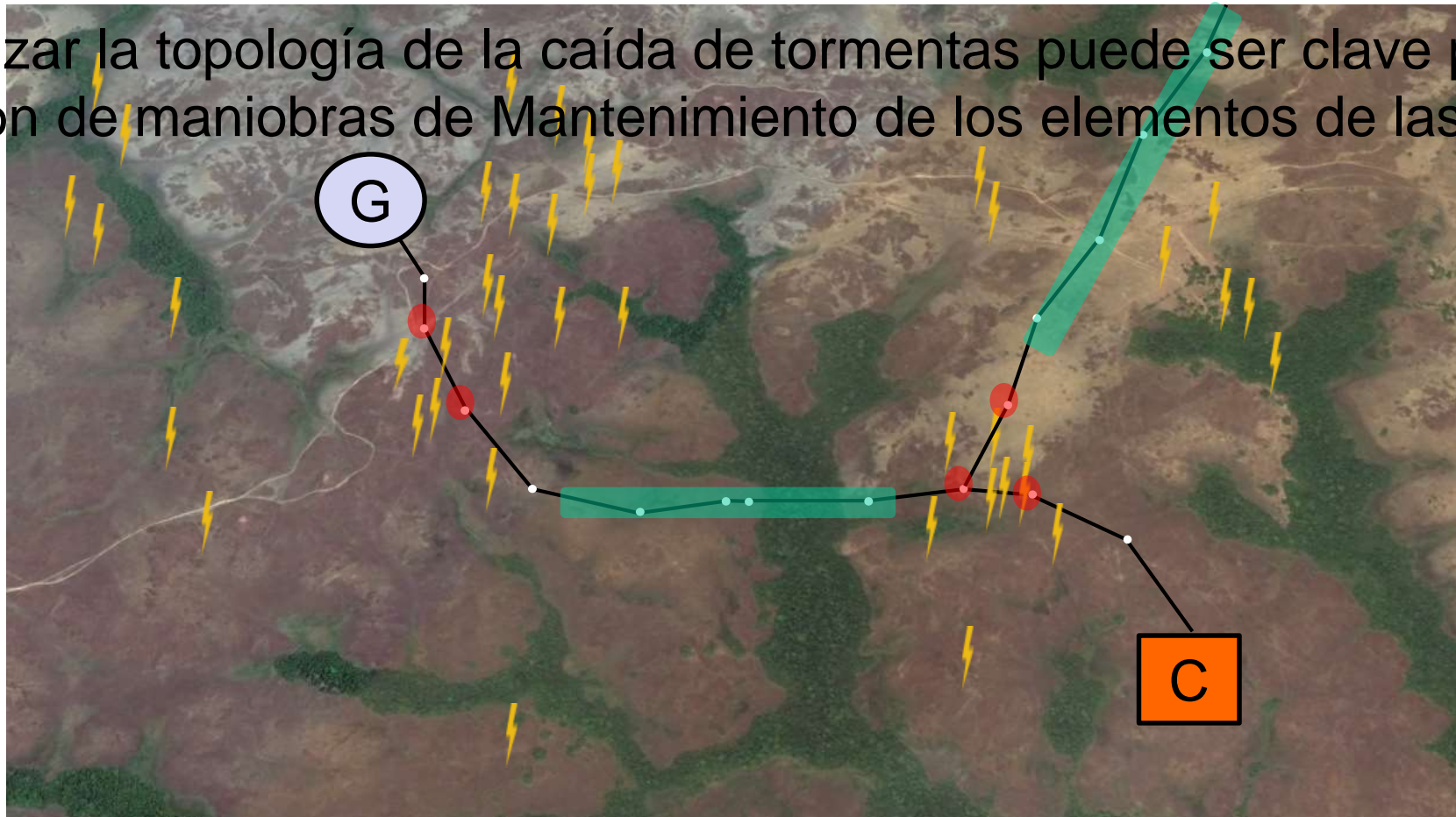
Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Caracterización de tormentas

- El caracterizar la topología de la caída de tormentas puede ser clave para coordinación de maniobras de Mantenimiento de los elementos de las líneas aéreas



Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

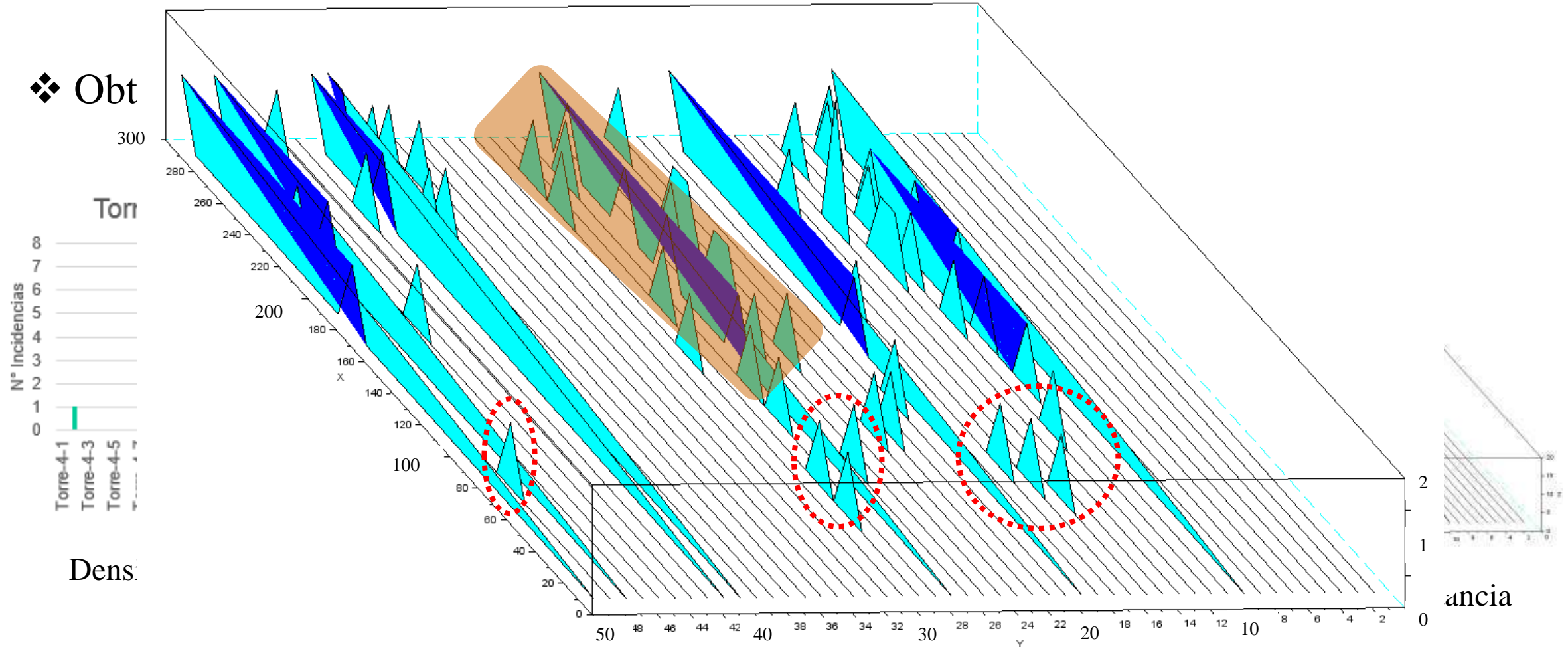
Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Caracterización de tormentas



Impactos del
Rayo

Caracterización del
Rayo

Enfoque y
Conceptos

Procesamiento de
Datos

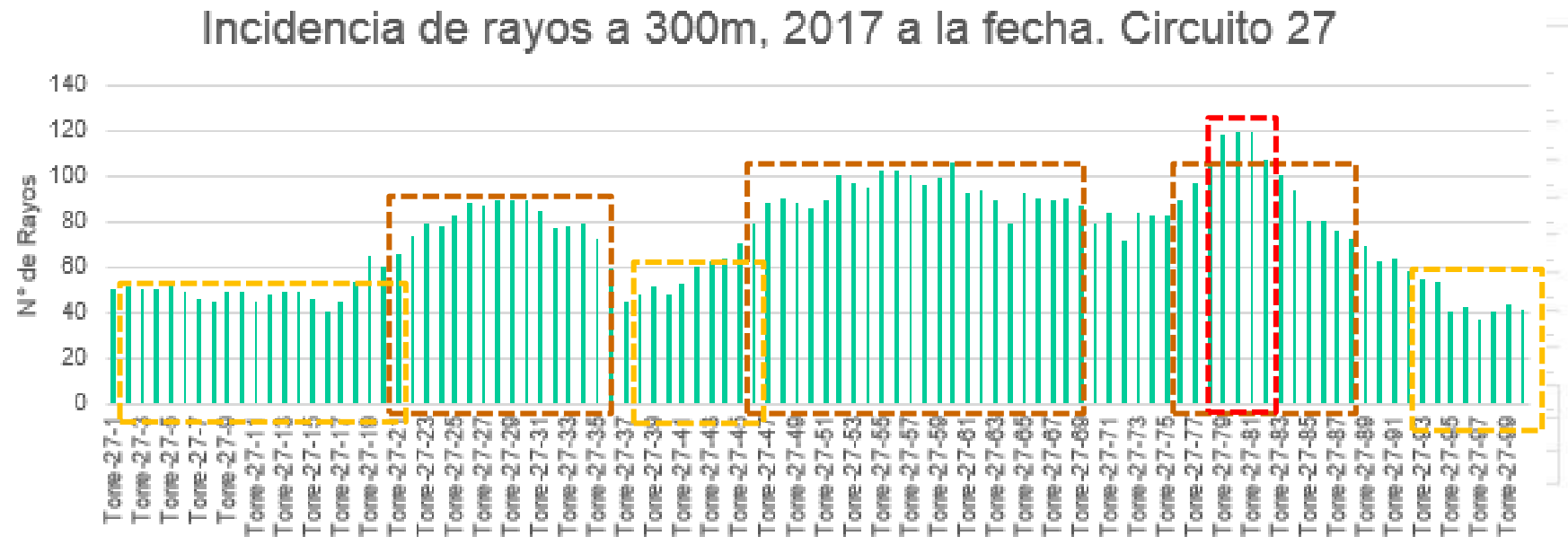
Presentación de
Información

Análisis
atmosférico

Densidad atmosférica histórica

- Definir la variabilidad espacio temporal de la actividad atmosférica de los circuitos, puede ser de base para:

Maniobras de contingencia en caso de DPS, sobre tensiones - DPS:



Conclusiones

¿Preguntas?

